

INDICADORES DE DETERIORO EN SUELOS DE LA PAMPA ONDULADA

S URRICARIET, R S LAVADO

Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, 1417 Buenos Aires, Argentina Email: lavado@ifeva.edu.ar

SOIL DETERIORATION INDEXES IN THE ROLLING PAMPA

The intensive land use in the Rolling Pampa promoted different rates of soil chemical and physical deterioration. Aggregate stability is known to be a good index of soil deterioration. Our objective was to compare soil physical, chemical and biological indexes of soil quality and their relationship with maize yields. Two fields differing in land use intensity were selected on farms. Soils with short cropping history (CC), long cropping history (CL) and a non-disturbed site, considered as the pristine soil condition (CP) were sampled. Organic carbon, organic nitrogen, nitrogen mineralization, extractable phosphorus, copper, zinc and boron, inorganic sulfate, exchangeable cations (calcium, magnesium and potassium), cation exchangeable capacity, pH and water stable soil aggregation were determined. Maize grain yield was used as a biological index in two successive years. The more intense land use promoted a greater decrease of soil aggregation than organic carbon and total nitrogen. As compared to CP, nitrogen mineralization in CL, was reduced to a 50 %, while plant availability of phosphorus, zinc and boron was reduced by 77%, 57% and 55% respectively. Other soil properties differed significantly from both deteriorated and pristine conditions but not between CC and CL. Exchangeable cation capacity, calcium and pH did not differ between treatments. Maize grain yield was only significantly different in the first year of experimentation. Mean weight diameter of aggregate was associated negatively with corn yields ($r = -0.63$) being the only soil property that presented significant differences among treatments in both years ($P < 0.05$). Soil stable aggregation and extractable phosphorus explained 53 % of the variation of maize grain yield.

Key words: Soil deterioration, Nutrients availability, Soil indexes, Zea mays

INTRODUCCIÓN

El proceso de deterioro de los suelos es complejo y de difícil cuantificación siendo necesario, en una primera aproximación al problema, definir la escala de trabajo. Karlen *et al.* (1997) propusieron monitorear la calidad de suelo a escala regional o cuenca, mientras que los procesos involucrados en el deterioro se entenderían mejor a nivel parcela. En la Pampa Ondulada, los trabajos realizados pertenecen mayoritariamente a la escala regional. Sobre esa base se ha determinado que una importante proporción de sus suelos se encuentran seriamente afectados por erosión hídrica o pérdida de fertilidad física y química o alteraciones en sus procesos biológicos (Pilatti *et al.* 1988, Michelena *et al.* 1989). Michelena *et al.* (1989) determinaron importantes disminuciones de los contenidos de carbono orgánico en los suelos del área. La reducción en los niveles de materia orgánica conduce a disminuciones semejantes en la actividad de la biomasa microbiana, lo cual

afecta la mineralización del carbono y nitrógeno (Collins *et al.* 1992, Grant *et al.* 1993).

Los estudios previos muestran a la erosión como factor crítico; sin embargo ésta no es la única manifestación ni tampoco la más generalizada (Michelena *et al.* 1989, Hall *et al.* 1992). Por el contrario, se trata de la etapa final del deterioro. Entre una condición prístina y otra severamente erosionada median un gran número de situaciones intermedias. La intensificación del uso agrícola de los suelos pampeanos causó una generalizada caída en la disponibilidad de nutrientes (Michelena *et al.* 1989, Vázquez *et al.* 1990, Hall *et al.* 1992). El fósforo extractable en los suelos de la Pampa Ondulada disminuyó en forma manifiesta desde la década de 1970, como consecuencia de la intensificación agrícola y la difusión del doble cultivo trigo-soja (Darwich 1990) y la consecuentemente elevada exportación neta de este nutriente con las cosechas. En cambio, la oferta de potasio aún

se mantiene (Conti *et al.* 1993) debido a la presencia de illitas en el material originario de estos suelos y a la baja proporción de potasio exportado por parte de los granos de los cereales, en relación con la absorción total del cultivo.

La estabilidad estructural podría considerarse un evaluador sensible del efecto antrópico en suelos de la Región Pampeana (Pilatti *et al.* 1988, Vázquez *et al.* 1990, Orellana, Pilatti 1994). Sin embargo, los cambios generados por las prácticas agrícolas pueden ser enmascarados por la gran variabilidad espacial y temporal de esta propiedad (Di Pietro *et al.* 1986, Caron *et al.* 1992). En suelos de la Pampa Ondulada, con intenso uso agrícola, Vázquez *et al.* (1990) encontraron que la estabilidad estructural presentó mayor disminución que las formas lábiles de carbono y nitrógeno. La estrecha asociación encontrada entre estabilidad estructural con formas lábiles de carbono y biomasa microbiana confirma la capacidad de estas como agentes cementantes de los agregados (Santanatoglia, Fernández, Chagas *et al.* 1995).

La relación entre la disponibilidad de nutrientes y rendimientos de los cultivos es estrecha, siendo ampliamente documentada la respuesta a nitrógeno y fósforo en la zona núcleo maicera (Senigagliesi *et al.* 1984, Barberis *et al.* 1985). Históricamente, los agricultores han utilizado al rendimiento de los cultivos como índices de deterioro. Sin embargo, tal índice es poco utilizado entre los científicos como indicadores biológicos de la calidad de sitio. Frecuentemente estas dos posturas generan visiones encontradas en el diagnóstico del deterioro de los suelos. El mayor riesgo del uso de los rendimientos es que situaciones de deterioro pueden permanecer enmascaradas por diferentes fuentes de variabilidad. Entre ellas se encontrarían el uso de diferentes materiales genéticos, variaciones climáticas, de sistemas de labranzas y fertilización (Horne *et al.* 1992, Totis de Zeljovich *et al.* 1992, Otegui *et al.* 1995).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar propiedades físicas, químicas y biológicas relacionadas con el suministro de nutrientes y vinculadas con los rendimientos

de maíz, como posibles indicadoras del deterioro de suelos de la Pampa Ondulada.

MATERIALES Y METODOS

Los experimentos fueron realizados en tres establecimientos ubicados en Pergamino y Rojas, Provincia de Buenos Aires (32-35° S y 58-62° E) durante las campañas 1994-95 y 1995-96. Los suelos fueron Argiudoles Típicos, familia fina ilítica térmica, correspondientes a dos series con características semejantes: Arroyo Dulce (Pergamino) y Rojas (INTA, 1989).

En los tres establecimientos se seleccionaron lotes en condiciones prístinas (CP), con corta historia agrícola (CC) y con larga historia agrícola (CL). La selección se efectuó sobre la base de la información detallada disponible en los establecimientos, tomando como referencia la historia agrícola de los últimos 30 años. Los lotes considerados CP estuvieron siempre bajo pastizal natural o pastura implantada como mínimo durante los últimos 20 años. El sistema de labranza de los lotes agrícolas fue convencional en todos los casos y los rastrojos fueron pastoreados. Los lotes con CC tuvieron, en los últimos 20 años, alternancia de agricultura (con predominio de maíz en el 42 % del total de casos) y de pasturas (35 % de los casos). La última pastura fue roturada hace seis años. Los lotes con CL también tuvieron alternancia agrícola-ganadera pero el comienzo del período agrícola fue mayor a 30 años, con predominio en la rotación de soja o trigo-soja (42 % de los casos). El 20 % de los años se dedicaron a pasturas siendo roturada la última de ellas, como mínimo hace trece años. En estos suelos se realizaron experimentos con diferentes materiales genéticos de maíz, fertilización y riego (Urricariet, Lavado 1997, Maddonni 1998, Cárcova *et al.* 1998).

Las propiedades químicas y físicas, motivo del presente trabajo, fueron evaluadas en los tratamientos testigos de CP, CC y CL utilizando un diseño en bloques completos aleatorizados. Los tratamientos fueron las tres condiciones de uso de los suelos (un lote por cada condición y establecimiento) y los tres establecimientos fueron considerados como repeticiones. Los suelos fueron muestreados con barreno, previo a la siembra del cultivo, en los primeros 0,2 m; para los suelos CP se extrajeron 12 submuestras y para los suelos CC y CL 9 submuestras que conformaron una muestra compuesta. Se efectuaron las siguientes determinaciones: carbono orgánico (Walkley, Black), nitrógeno total (Kjeldahl) y las formas extractables de fósforo (Kurtz, Bray, colorimetría con molibdato), cobre y zinc (extracción con EDTA y determinación con espectrofotómetro de absorción atómica), boro (extracción con CaCl_2 y colorimetría con azometría-H), S-SO_4 (Bardsley, Lancaster

1982). cationes de cambio (calcio, magnesio y potasio), capacidad de intercambio catiónico (NH_4OAc 1N, pH 7) y pH (1:2,5 suelo: agua). de acuerdo con las metodologías detalladas por Page *et al.* (1982). Asimismo se tomaron muestras de suelo sin disturbar en capacidad de campo, para estimar la estabilidad de la estructura al agua. La diferencia en la distribución de agregados entre tamizado en seco (tamices de 8; 4,76 y 3 mm) y húmedo (con suelo prehumedecido y tamices de 8; 4,76; 3; 1; 0,5 y 0,3 mm) permitió calcular la variación en el peso diámetro medio ponderado (Kemper, Rosenau 1986).

En el presente trabajo se utilizan? como indicador biológico de deterioro, los resultados de rendimiento de maíz provenientes de los experimentos realizados por Maddonni (1998). En las dos campañas se incluyen los suelos sometidos a diferentes intensidades de uso agrícola (CC y CL). En éste trabajo se utilizaron únicamente los rendimientos del híbrido de maíz Dekalb 752. Las parcelas constaron de seis líneas de 5 m de longitud distanciadas a 0,7 m entre sí, habiéndose realizado tres repeticiones en cada lote. El rendimiento de maíz se determinó cosechando siete plantas por parcela que se secaron a 70 °C hasta peso constante. En la segunda campaña se incluyó un experimento en un suelo CP realizado, solo en uno de los establecimientos de Pergamino. Este ensayo fue constituido por diferentes niveles de fertilización (Urricariet, Lavado 1997) y se utilizaron para el presente trabajo únicamente los rendimientos de las parcelas testigos. El diseño del experimento fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones, el tamaño de las parcelas, material genético y manejo del cultivo fue igual al mencionado anteriormente.

Además los suelos fueron muestreados con barrenos, previo a la implantación del cultivo y en madurez fisiológica, en los primeros 0,6 m (a intervalos de 0,2 m) para estimar los contenidos de N-NO_3 (Daniel, Marban 1989). En madurez fisiológica se muestreó 1 m² por parcela (nueve repeticiones por tratamiento) para estimar la biomasa aérea y se determinó el contenido de nitrógeno en grano y paja. El nitrógeno mineralizado durante el ciclo del cultivo fue estimado mediante la diferencia entre el nitrógeno a cosecha (suelo+planta) y el N-NO_3 inicial en el suelo de acuerdo al modelo propuesto por Huggins, Pan (1993).

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante ANOVA y comparaciones múltiples de Tukey. Mediante regresión lineal se evaluó la asociación entre propiedades edáficas y rendimientos. La selección de las variables de optimización de modelos se hizo de acuerdo al método de Stepwise mediante el programa

estadístico Statgraphic. En este caso, para evaluar las dos campañas conjuntamente, fue necesario estandarizar todos los resultados, siendo recalculados como la diferencia entre cada determinación y la media anual correspondiente.

RESULTADOS Y DISCUSION

La estabilidad estructural como indicador de deterioro

La variación del diámetro medio ponderado de agregados estables al agua se presentan en la Tabla 1. Este índice permitió discriminar según el grado de intensificación de uso agrícola de los suelos resultando un indicador sensible del efecto antrópico. Esto coincide con las observaciones de otros autores en la región (Michelen *et al.* 1989, Pilatti *et al.* 1988, Vázquez *et al.* 1990). El deterioro redujo el diámetro de agregados estables al agua, presentando los suelos CC y CL un 37 % y 23 %, de estabilidad en relación a los suelos CP, respectivamente. Orellana y Pilatti (1994) clasificaron como suelos deteriorados de Santa Fé a aquellos con valores inferiores al 19 % de agregados estables expresado en forma relativa a la condición prístina. Los valores encontrados en este trabajo para la condición de mayor deterioro evaluada (CL) son semejantes a los obtenidos por estos autores.

Evaluación de propiedades químicas y biológicas como índices de deterioro.

Los contenidos de carbono de los suelos CL representan el 77% del carbono de los CP, mientras que los CC un 73% (Tabla 1). Vázquez *et al.* (1990) informaron reducciones similares a las encontradas en este trabajo en suelos de la Pampa Ondulada sometidos a intenso uso agrícola. Las disminuciones de carbono de las condiciones evaluadas no resultaron tan marcadas como las registradas en el relevamiento efectuado por Michelen *et al.* (1989) quienes, tomando como referencia los suelos prístinos en las mismas series de suelo, encontraron caídas del 37% en rotaciones agrícola-ganaderas y del 47 % bajo agricultura continua. Los niveles de deterioro evaluados en este trabajo no permitieron detectar diferencias significativas en los contenidos totales de carbono entre CC y CL. Sin embargo, la disminución relativa de las fracciones lábiles podría ser mayor, como fuera observado por Vázquez *et al.* (1990) en

los mismos suelos, afectando la disponibilidad de nutrientes y la capacidad de estructuración de los suelos (Oades 1993, Bauer, Black 1994). Por otra parte es conocida la asociación entre la estructura y las formas lábiles de carbono (Santanatoglia, Fernández 1983, Chagas *et al.* 1995).

Tabla 1: Variación en el diámetro medio ponderado de agregados estables al agua (VDMP), carbono orgánico (CO), nitrógeno total (NT), N-NO₃⁻ (NI), N mineralizado (NM), pH, CIC y rendimiento de maíz (R).

| Suelos | VDMP | CO | NT | NI | NM | pH | CIC | R |
|-----------------|--------|--------------------------------|-------|-------------------------------|---------|--------|--------------------------|----------------------|
| | | ---- (g kg ⁻¹)---- | | --- (kg ha ⁻¹)--- | | | (cmol kg ⁻¹) | (g m ⁻²) |
| Campaña 1994/95 | | | | | | | | |
| CP | 0,33 c | 25,8 a | 2,8 a | | | 6,4a | 18,1 a | |
| CC | 0,88 b | 19,7 b | 2,1 b | 84,7 a | 108,9‡ | 5,6 b | 18,7 a | 972,1 |
| CL | 1,41 a | 18,8 b | 2,0 b | 44,3 b | 86,5‡ | 6,0 ab | 18,3 a | 622,5 |
| P † | 0,0001 | 0,05 | 0,05 | 0,02 | | 0,06 | 0,74 | |
| Campaña 1995/96 | | | | | | | | |
| CP | 0,31 c | 28,3 a | 2,9a | 47.2 | 216,6 | 6,1 a | 18,7 a | 848,7 |
| CC | 0,89 b | 20,9 b | 2,3b | 57,7 a | 120,1 a | 6,2 a | 18,0 a | 640,8 a |
| CL | 1,66 a | 19,9 b | 2,1 b | 44.0 a | 109,5 a | 6,2a | 17,9 a | 582,6 |
| P † | 0,0004 | 0,04 | 0,03 | 0,49 | 0,21 | 0,72 | 0,32 | 0,54 |

† Valores de PANVA
‡ Promedio de dos determinaciones

La caída de los contenidos totales de nitrógeno, resultó semejante a la de carbono, no difiriendo tampoco entre niveles de deterioro. La disponibilidad de N-NO₃⁻ (Tabla 1) en el momento de siembra del cultivo resultó mayor en los suelos CC en la primera campaña. En cambio, al año siguiente, las diferencias no fueron significativas. Puede postularse que las escasas precipitaciones ocurridas hasta el momento de siembra (datos no presentados), habrían afectado el proceso de mineralización (Sierra, 1997). El S-SO₄²⁻ disminuyó en menor medida que el nitrógeno (Tabla 2) debido probablemente a que el azufre es relativamente más resistente a la mineralización (Echeverría *et al.* 1996).

La estimación de nitrógeno mineralizado propuesta no resultó un índice confiable del deterioro ocurrido, probablemente debido a que este tipo de estimaciones está muy condicionada a los rendimientos obtenidos (Tabla 1). Por su parte éstos están estrechamente asociados a condiciones de estrés hídrico alrededor del momento de floración (Jensen, Cavalieri 1983, Otegui *et al.* 1995). Las precipitaciones en los 15 días previos y posteriores a la floración fueron un 50 % inferiores en la segunda

campaña, ocurriendo lo inverso en el período de llenado de grano. Las tasas de mineralización promedio calculadas durante el desarrollo del cultivo fueron del 2,45% y 2,28% del nitrógeno total para los suelos CC y CL respectivamente. Estas tasas son comparables a estimaciones realizadas por Zourarakis *et al.* (1987) en condiciones de campo con suelo no disturbado, para el trimestre más cálido del ciclo de cultivo de maíz. En cambio para el suelo CP se estimó una tasa de mineralización de 3,58 % del nitrógeno total, durante el desarrollo del cultivo.

En la Tabla 2 se presentan las formas extractables de los restantes macro y micronutrientes estudiados. En ambas campañas no se encontraron diferencias significativas en fósforo entre los dos niveles de deterioro evaluados. La caída relativa a los suelos prístinos, 84 % para CC y 77% para CL, son coincidentes con los obtenidos por Michelena *et al.* (1989) en planteos de agricultura continua para las mismas series de suelos. También Vázquez *et al.* (1991), en suelos con una larga historia agrícola del sur de Santa Fé, encontraron disminuciones similares de las formas extractables de fósforo. El escaso

uso de fertilizantes en la historia agrícola evaluada explicaría los resultados obtenidos.

Entre los micronutrientes, el zinc es uno de los que presentaron mayor disminución, 57 % para CL, en relación al suelos prístino (Tabla 2). Coincidentemente, Ratto de Miguez, Fatta (1990) y Lavado, Porcelli (1999) categorizaron a estos suelos como deficitarios. Tanto el boro como el zinc no presentaron diferencias significativas entre ambos niveles de deterioro. En los mismos

suelos Ratto de Miguez, Fatta (1990) indicaron que el boro era deficitario para la producción de maíz en un importante número de situaciones evaluadas. Para cultivos más exigentes, como es el girasol, Ratto de Miguez, Diggs (1990) encontraron valores bajos a medios de boro, en la zona en estudio. El cobre que solo en algunos sitios presentó cierto nivel de deficiencia (Ratto de Miguez, Fatta 1990, Lavado, Porcelli 1999) registró una caída más gradual con el avance del deterioro.

Tabla 2: Formas extractables de P, B, Zn y Cu, intercambiables de K, Ca y Mg y S (S-SO_4^{--}) en solución. Se presentan los valores de P del ANOVA.

| Suelos | P | B | Zn | Cu | K | Ca | Mg | S-SO ₄ |
|------------------|------------------------------------|-------|--------|--------|--|---------|--------|------------------------|
| | ----- (mg kg ⁻¹) ----- | | | | ----- (cmol c kg ⁻¹) ----- | | | (mg kg ⁻¹) |
| Campaña 1994/195 | | | | | | | | |
| CP | 152,2 a | 0,7 a | 13,2 a | 3,4 a | 2,6 a | 10,0 a | 2,8 a | 19,2 a |
| CC | 23,0 b | 0,3 b | 2,1 b | 2,7 ab | 1,6 a | 10,2 a | 2,2 a | 15,5 b |
| CL | 38,8 b | 0,3 b | 4,5 b | 2,6 b | 1,8 a | 10,3 a | 2,3 a | 15,2 b |
| P† | 0,04 | 0,03 | 0,09 | 0,05 | 0,27 | 0,89 | 0,11 | 0,07 |
| Campaña 1995/196 | | | | | | | | |
| CP | 111,3 a | 0,8 a | 6,5 a | 3,2 a | 2,5 a | 10,9 a | 2,3 a | 14,3 a |
| CC | 18,6 b | 0,4 b | 2,3 b | 2,7 ab | 1,7 ab | 11,21 a | 2,0 ab | 12,4 ab |
| CL | 16,7 b | 0,3 b | 2,0 b | 2,25 b | 1,5 b | 11,0 a | 1,9 b | 11,1 b |
| P† | 0,001 | 0,002 | 0,02 | 0,05 | 0,06 | 0,91 | 0,04 | 0,04 |

†† Valores de P ANOVA

No se encontraron diferencias significativas de la CIC (Tabla 1) siendo también escasas las variaciones de los cationes de cambio (Tabla 2), particularmente el calcio. Esto se relaciona con mínimos cambios en la acidez (Tabla 1). Podría estimarse que esta situación se debería a dos razones: los bajos niveles de calcio exportados por los cultivos más difundidos y el elevado contenido del elemento en el subsuelo (INTA 1989) que determinaría su reciclado en el perfil. De acuerdo con el status de los cationes intercambiables, no se registró una tendencia definida hacia la acidificación de los suelos estudiados. Sin embargo, esto en el futuro podría modificarse por el uso de fertilizantes nitrogenados, muchos de ellos acidificantes (Fabrizzi *et al.* 1998). En cambio, menos relacionados con el pH de los suelos, el magnesio y potasio presentan cierto nivel de disminución, probablemente por ser más exportados por los cultivos. Las caídas cercanas al 33 % de potasio intercambiable serían semejantes a las encontradas por Conti

et al. (1993) en la misma región. Los autores mencionados además encontraron que la capacidad reguladora potásica no difirió entre suelos prístinos y cultivados.

La disponibilidad de nutrientes no fue un indicador frente a diferente nivel de deterioro, causado por distinta intensidad de uso de los suelos. Una explicación es que independientemente de las distintas historias agrícolas, se habría superado un umbral de deterioro a partir del cual ya no se manifiestan diferencias importantes entre suelos. El análisis univariado de los resultados obtenidos resulta poco concluyente, en cambio podría utilizarse el análisis multivariado, que ha sido especialmente diseñado para explorar la estructura de los datos.

Relación entre variables edáficas y rendimientos

En la pre campaña los rendimientos de los suelos CC fueron mayores a los CL (Tabla 1), en cambio no se encontraron diferencias significativas al año

siguiente. Esto es atribuible a que se registraron condiciones de déficit hídrico en diferentes momentos. Las precipitaciones desde la emergencia del cultivo hasta panojamiento fueron 141 y 186 mm para la primera y segunda campaña respectivamente, lo que representa valores inferiores a la media histórica. En el momento más crítico para la expresión del rendimiento, entre los 15 días anteriores y posteriores a la floración, las precipitaciones fueron de 117 y 57 mm para ambas campañas, respectivamente. Además, temperaturas en el período de prefloración superiores a la media histórica y la utilización de un híbrido con escasa tolerancia al estrés hídrico explicarían los resultados obtenidos (Cárcova *et al.* 1998). El rendimiento alcanzado para el suelo en CP fue de 849 g m^{-2} mientras que en el mismo establecimiento se logró un rendimiento de 886 g m^{-2} en el suelo CC para la campaña 1994/1995. Esto confirmaría que la limitante en la oferta hídrica en el segundo año, fue un importante condicionante de la expresión de rendimiento.

La asociación entre rendimientos de maíz e inestabilidad de agregados al agua ($r = -0.63$) presentó una tendencia semejante en las dos campañas (Figura 1) correspondiendo bajos rendimientos a mayores variaciones en el diámetro medio ponderado de los agregados ($P < 0.05$). Probablemente la mayor estabilidad de los agregados favoreció la exploración radical del cultivo, mejorando su eficiencia para absorber agua y nutrientes del suelo.

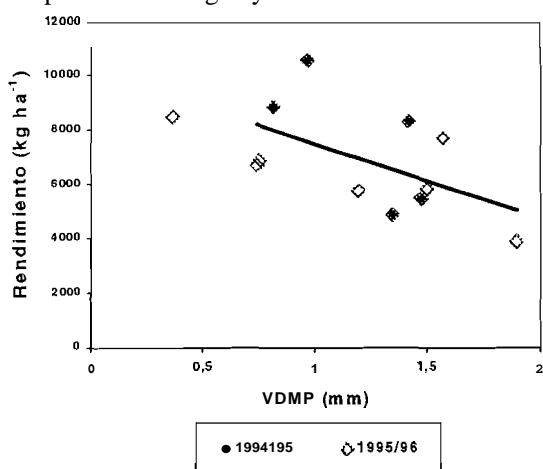


Figura 1: Rendimientos de maíz en función del diámetro medio ponderado de agregados estables al agua (VDMP).

La variabilidad entre ciclos agrícolas en los rendimientos determinó que fuera necesario estandarizar los resultados para eliminar el efecto año y poder evaluar las dos campañas conjuntamente. Como resultado de la matriz de correlación lineal entre todas las propiedades del suelo evaluadas se analizaron solamente las que se relacionaron con el rendimiento en los dos niveles de deterioro y campañas conjuntamente. Para la población en estudio solamente se asociaron con los rendimientos de maíz ($P < 0.05$) dos propiedades químicas: las formas extractables de fósforo ($r = 0.51$) y zinc ($r = 0.54$). Utilizando los criterios estadísticos de Stepwise se seleccionó el grupo de variables independientes a incluir en el modelo. Se obtuvo el modelo siguiente que explica el 53 % de la variabilidad encontrada en los rendimientos (R) con una probabilidad del 0,03.

$$R = 0,035 - 0,25 \text{ VDMP} + 0,559 \text{ P}$$

La variación en el diámetro medio ponderado de agregados estables al agua (VDMP) fue la variable de mayor peso en el modelo ya que permitió explicar el 34% de la variabilidad encontrada. Las variables independientes seleccionadas no presentaron asociación entre ellas y la inclusión de zinc no significó una mejora considerable del modelo obtenido. La asociación encontrada entre la oferta de nutrientes y rendimientos constituiría una componente importante a tener en cuenta como diagnosticador de deterioro. Cabe destacar que los nutrientes que cuentan con vías naturales de restitución, como sería el caso del nitrógeno aportado por pasturas consociadas, no presentaron asociación con rendimientos. Los resultados obtenidos confirman la importancia del deterioro físico actual de los suelos como factor condicionante de la producción de maíz. Además, se suma la restricción en la disponibilidad de fósforo, por intensificación del uso agrícola de los Argiudoles Típicos estudiados, limitando la posibilidad de alcanzar altos rendimientos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a G. Maddonni y J. Cárcova por permitir utilizar los ensayos de campo para la estimación de rendimientos y sus innumerables aportes en el Grupo de Tesis

Coordinadas. Este trabajo fue financiado por la Universidad de Buenos Aires mediante el subsidio AG-115.

REFERENCIAS

- Barberis L, Chamorro E, Baumann Fonay C, Zourarakis D, Canova D, Urricariet S. 1985. Respuesta del cultivo de maíz a la fertilización nitrogenada en la Pampa Ondulada. Campañas 1980/81-1983/84. II modelos predictivos y explicativos. Rev. Fac. Agr. UBA, 6: 64-84
- Bardsley C E, Lancaster J D. 1982. Sulfur. En: Methods of soil analysis. Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc. Amer. Madison. Wisconsin. pp 1110-1113.
- Bauer A, Black A L. 1994. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 185-193
- Cárcova J, Maddonni G A, Ghersa C M. 1998. Crop water stress index of three maize hybrids grown in soils with different quality. Field Crops Research 55: 165-174
- Caroii J, Kay B D, Stone J A, Kachanoski R G. 1992. Modeling temporal changes in structural stability of a clay loam. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 1597-1604
- Chagas C I, Santanoglia O J, Castiglioni M G. 1995. Tillage and cropping effects on selected properties of a Argiudoll in Argentina. Commun. Soil Sci. Platit Anal. 25: 643-655
- Collins H P, Rasmussen P E, Douglas C L. 1992. Crop rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 783-788
- Conti M E, de la Horra A M, Effroi D, Jimenez M P. 1993. Alteración producida en la relación cantidad-intensidad de potasio (Q/I) de algunos suelos argentinos afectados por laboreo continuo. Agrochimica 37: 351-358
- Daniel P, Marbán L. 1989. Adaptación de un método espectrofotométrico reductivo para la determinación de nitratos en extractos de suelos. Boletín informativo. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo 58: 3-8.
- Darwich N A. 1990. Fertilizantes: nuevo balance de requerimientos. En: Juicio a nuestra agricultura. WTA. 1-10.
- Di Pietro L B, Marbán de Ravera, Richter de Kleber V. 1986. Variabilidad espacial de parámetros físicos y químicos de un suelo de Pergamino. Ciencia del Suelo 4: 91-98.
- Echeverria H E, San Martin N F, Bergonzi R. 1996. Mineralización de azufre y su relación con la de nitrógeno en suelos agrícolas. Ciencia del Suelo 14: 107-109.
- Fabrizzi K, Picone L, Berardo A, García F. 1998. Efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada en las propiedades químicas de un Argiudol Típico. Ciencia del Suelo 16: 71-76.
- Grant R F, Juma N G, Mc Gill W B. 1993. Simulation of carbon and nitrogen transformations in soil: mineralization. Soil Biol. Biochem. 25: 1317-1329.
- Hall A J, Rebella C M, Ghersa C M, and Cullot J Ph. 1992. Field-crop systems of Pampas. En C. J. Pearson (Ed). Ecosystems of the world. Field Crops Ecosystems. Elsevier Scientific, Amsterdam-London-New York-Tokyo. pp 413-450
- Horne D J, Ross C W, Hughes K A. 1992. Ten years of maize/oats rotation under three tillage systems on a silt loam in New Zealand. A comparison of some soil properties. Soil Till. Res. 22: 131-143.
- Huggins D R, Pan W L. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. Agron. J. 85: 898-905
- INTA. 1989. Atlas de suelos de la República Argentina. CIRN. Instituto de Evaluaciones de Tierras. Buenos Aires.
- Jensen S, Cavalieri, A. 1983. Drought tolerance in maize. Agricultural Water Management 7: 223-236
- Karlen D L, Mausbach M J, Doran J W, Cline R G, Harris R F, Schuman G E 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 4-14
- Kemper W D, and Roseiiau R C. 1986. Aggregate stability and size distribution. En A. Klute (Ed). Methods of soil analysis. Amer. Soc. Agr. Soil. Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin. pp 425-441
- Lavado R S and Porcelli. C A 1999. Contents and main fractions of trace elements in typical Argiudolls of the Argentinean Pampas. Chemical Speciation and Bioavailability (en preiisa).
- Maddonni G A. 1998. Interacciones entre la estabilidad del rendimiento en híbridos de maíz y el deterioro del suelo en la Pampa Ondulada. Tesis del Magister en Producción Vegetal. pp122
- Michelena R O, Irurtia C B, Vavruska F A, Mon R, Pittaluga A. 1989. Degradación de suelos del Norte de la Región Pampeana.

- del Norte de la Región Pampeana. Publicación Técnica 6. INTA. Centros Regionales de Buenos Aires Norte, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fé. Proyecto de Agricultura Conservacionista.
- Oades J M. 1993. The rol of biology in the formation stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56: 377-440
- Orellana J A, Pilatti MA. 1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Ciencia del Suelo* 12: 75-80
- Otegui M E, Andrade F H, Suero E E. 1995. Growth, water use and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crop Research* 40: 87-94
- Page A, Miller A H, Keeney D R. 1982. Methods of Soil Analys. Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc. Amer, Madison, Wisconsin.
- Pilatti M A, de Orellana J A, Priano L J, Felli O M, Grenon D A. 1988. Incidencia de manejos tradicionales y conservacionistas sobre propiedades físicas, químicas y biológicas en un Argiudol en el sur de Santa Fé. *Ciencia del Suelo* 6: 19-29
- Ratto de Miguez S, Diggs C. 1990. Niveles de boro en suelos de la Pradera Pampeana. Aplicación al cultivo de girasol. *Ciencia del Suelo* 8: 93-100
- Ratto de Miguez S, Fatta N. 1990. Disponibilidad de micronutrientes en suelos del área maicera núcleo. *Ciencia del Suelo* 8: 9-15
- Santanatoglia O J, Fernández N R. 1983. Estabilidad estructural y contenido de gomas microbianas bajo distintos tipos de manejo, en suelos de la Serie Ramallo (Argiudol Vértico). *Ciencia del Suelo* 1: 43-49
- Senigagliesi C, García R, Galetto M. 1984. Evaluación de la respuesta del maíz a la fertilización fosfatada en el área centro-norte de Buenos Aires y sur de Santa Fé. III Congreso de Maíz: 252-258
- Sierra J. 1997. Temperature and soil moisture dependence of N mineralization in intact soil cores. *Soil Biol. Biochem.* 29: 1157-1563
- Totis de Zeljovich L E, Zeljkovich V J, Blotta L A, Hansen O M. 1992. Evaluación de sistemas de manejo continuados. I Efecto los rendimientos de maíz integrando la secuencia maíz-trigo/soja en Pergamino. V Congreso de Maíz: 195-206
- Urricariet S, Lavado R S 1997. Respuesta del maíz a fertilizaciones balanceadas en suelos deteriorados. VI Congreso de Maíz: 219-224.
- Vázquez M E, Berasategui L A, Chamorro E R, Taquini L A, Barberis L A 1990. Evaluación de la estabilidad estructural y diferentes propiedades químicas según el uso de los suelos en tres áreas de la Pradera Pampeana. *Ciencia del Suelo*. 8: 203-210
- Vázquez M E, Noellemeyer E, Coremberg P. 1991. The dynamics of different organic and inorganic phosphorus fractions in soils from the south of Santa Fé province, Argentina. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 22: 1151-1163
- Zourarakis D, Urricariet S, Sierra J, Barberis L. 1987. Medición de la capacidad de nitrificación mediante la técnica de incubaciones *in situ* en suelos cultivados con maíz. *Ciencia del Suelo* 8: 101-114.